

ETUDE PRELIMINAIRE A LA REALISATION DE BILANS ENVIRONNEMENTAUX SUR LE CHAUFFAGE AU BOIS

Partie 3 : Recommandations méthodologiques

Novembre 2015

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par :
FCBA (Claire Cornillier), CIRAD (Anthony Benoist), CNPF (Olivier Gleizes)
N° de contrat : 1401C0030

Coordination technique ADEME :

Alice GUEUDET
Miriam BUITRAGO

– Direction *Productions et Energies Durables* \ Service *Bioressources*
– Direction *Productions et Energies Durables* \ Service *Agriculture et Forêts*



RAPPORT D'ETUDE

En partenariat avec :



REMERCIEMENTS

Nous remercions tout particulièrement Alice Gueudet (ADEME) et Miriam Buitrago (ADEME) pour leur forte et enrichissante implication technique dans la réalisation de cette étude.

Nous remercions également l'ensemble des membres du comité de suivi de l'étude :

- Marie April (ADEME),
- Frédéric Branger (MAAF),
- Gérard Deroubaix (FCBA),
- Alice Fautrad (ADEME),
- Isabelle Feix (ADEME),
- Julia Grimault (CDC climat),
- Martine Leclercq (MEDDE),
- Joseph Lunet (MEDDE),
- Azadeh Marzin (ADEME),
- Jérôme Mousset (ADEME),
- Olivier Picard (CNPFP),
- Jean-Christophe Pouet (ADEME),
- Caroline Rantien (ADEME),
- Olivier Réthoré (ADEME),
- Julie Thomas (CNPFP),
- Murielle Trouillet (MAAF),
- Estelle Vial (FCBA),
- Lise Wlérick (MAAF).

Enfin, les auteurs remercient leurs collègues du groupe de recherche ELSA (Environmental Lifecycle and Sustainability Assessment), de l'unité de recherche BioWooEB (Biomasse, Bois, Energie, Bioproduits) du CIRAD, des pôles ENSA (Environnement Santé), EEP (Energie Economie Prospective) et BSA (Biotechnologie Sylviculture Avancée) de FCBA, pour les différents échanges et discussions qui ont eu lieu sur les thèmes abordés dans ce rapport et qui ont permis d'enrichir et d'améliorer celui-ci.

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME. Cornillier Claire, Benoist Anthony. 2015. Etude préliminaire à la réalisation de bilans environnementaux sur le chauffage au bois – Partie 3 : Recommandations méthodologiques. 37 p.

En français :

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

En anglais :

Any representation or reproduction of the contents herein, in whole or in part, without the consent of the author(s) or their assignees or successors, is illicit under the French Intellectual Property Code (article L 122-4) and constitutes an infringement of copyright subject to penal sanctions. Authorised copying (article 122-5) is restricted to copies or reproductions for private use by the copier alone, excluding collective or group use, and to short citations and analyses integrated into works of a critical, pedagogical or informational nature, subject to compliance with the stipulations of articles L 122-10 – L 122-12 incl. of the Intellectual Property Code as regards reproduction by reprographic means.

Table des matières

Résumé	5
1. Phase 1 : Définition des objectifs et du champ de l'étude	7
1.1. Ne pas négliger l'étape de définition des objectifs de l'étude	7
1.2. Déterminer la « situation » de l'étude	7
1.3. Déterminer la fonction principale d'étude, l'unité fonctionnelle, et flux de référence.....	10
1.4. Identifier les éventuelles autres fonctions du système d'étude et choisir la solution pour résoudre la multifonctionnalité	10
1.5. Définir les frontières du système	14
1.5.1. Définir l'approche retenue pour définir les frontières du système et préciser les processus inclus dans les frontières du système	15
1.5.2. Au niveau de l'étape de production de la biomasse, préciser si l'occupation forestière relève de la technosphère ou de l'écosphère	17
1.5.3. Choisir et expliciter les dimensions spatio-temporelles de l'occupation forestière, dans le cas de forêts anthropiques	18
1.5.4. Préciser les processus de la technosphère exclus des frontières du système	19
1.5.5. Distinguer les processus de premier plan et ceux d'arrière plan	19
1.6. Préciser la représentativité attendue des données	20
2. Phase 2 : Inventaire du cycle de vie	21
2.1. Identifier les processus de transformation et d'occupation d'usage des sols à considérer	21
2.2. Allouer un processus de transformation d'usages des sols à des usages successifs	21
2.3. Allouer un processus de transformation d'usages des sols à une production de biomasse additionnelle	22
3. Phase 3 : Evaluation des impacts de cycle de vie	23
3.1. Réaliser le choix d'une méthode d'évaluation des impacts selon les recommandations internationales les plus récentes.....	23
3.2. Spécificités liées à l'évaluation des effets du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique	24
3.2.1. Cadre général de prise en compte des effets du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique	24
3.2.2. Caractérisation du mécanisme « Emission de GES ».....	25
3.2.3. Caractérisation du mécanisme « Usage des sols » pour les processus de transformation	26
3.2.4. Caractérisation du mécanisme « Usage des sols » sur les processus d'occupation.....	26
3.2.5. Synthèse des recommandations relatives à la prise en compte des effets du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique	27
3.3. Spécificités liées à la prise en compte de l'utilisation de ressources en systèmes forestiers.....	28
4. Phase 4 : Interprétation du cycle de vie	29
4.1. Vérification de l'étude.....	29

4.2. Formulation des conclusions de l'étude.....	29
5. Conclusions	30
Références bibliographiques	32
Index des tableaux et figures.....	34
Sigles et acronymes.....	35

Résumé

Le présent rapport fournit des recommandations méthodologiques pour mener à bien des Analyses de Cycle de Vie (ACV) dans le domaine du chauffage bois. Ces recommandations s'appuient sur les résultats de deux premiers volets menés dans le cadre de l'étude :

- Un état de l'art sur les principales difficultés méthodologiques rencontrées lors de la réalisation de bilans environnementaux par ACV dans le domaine du chauffage au bois ;
- Une mise en œuvre de méthodes de caractérisation d'impact sur le changement climatique sur des cas d'étude (Cornillier et al., 2015).

Ces recommandations ont pour ambition d'apporter aux praticiens de l'ACV un support méthodologique complémentaire à celui fourni par les normes en vigueur, et appliqué au domaine du chauffage bois. Ces recommandations sont explicitées selon les quatre phases de réalisation d'une étude d'ACV.

Une partie d'entre elles sont déclinées en fonction de la situation de l'étude qui aura pu être déterminée par analyse des objectifs, reprenant les propositions des travaux de l'ILCD.

D'autres recommandations sont plus spécifiques au chauffage bois. Elles apportent notamment de l'aide pour mieux appréhender l'analyse de l'étape forestière (frontière entre technosphère et écosphère, dimensions spatio-temporelles de la description des processus), l'évaluation des impacts du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique, ainsi que l'évaluation des impacts de l'utilisation de ressources des systèmes forestiers.

ABSTRACT

This report provides methodological recommendations to carry out Life Cycle Assessments (LCA) on wood heating systems. These recommendations are based on the results of the first two parts of this study:

- A state of the art on the main methodological issues when carrying out LCA studies on wood heating systems;
- An implementation of characterization models for climate change impact on case studies.

These recommendations aim at providing additional methodological support to LCA practitioners, complementary to current standards and guidelines, and dedicated to wood heating systems. These recommendations are detailed according to the four phases of implementation of an LCA study.

Some of them are broken down according to the situation of the study which depends on the analysis of the LCA objectives, according to ILCD proposals.

Other recommendations are more specific to wood heating systems. They provide assistance to better capture the specificities and the analysis of the forest stage (boundary between technosphere and ecosphere, spatio-temporal dimensions for process description), the assessment of the biogenic carbon cycle impacts on climate change, and the assessment of resource use for forest systems.

Le présent rapport fournit des recommandations méthodologiques pour mener à bien des évaluations environnementales de type ACV dans le domaine du chauffage bois. Ces recommandations ont été établies dans le cadre d'une étude coordonnée par l'ADEME, dont la réalisation a été confiée à un consortium composé de l'institut technologique FCBA, du CIRAD et du CNPF. Ces recommandations (partie 3 du rapport de l'étude) s'appuient sur les résultats de deux premiers volets :

- Un état de l'art sur les principales difficultés méthodologiques rencontrées lors de la réalisation de bilans environnementaux par ACV dans le domaine du chauffage au bois (partie 1 du rapport de l'étude) ;
- Une mise en œuvre de méthodes de caractérisation d'impact sur le changement climatique sur des cas d'étude (partie 2 du rapport de l'étude).

Ces recommandations ont pour ambition d'apporter aux praticiens de l'ACV un support méthodologique complémentaire à celui fourni par les normes en vigueur, et appliqué au domaine du chauffage bois. Ces recommandations sont explicitées selon les quatre phases de réalisation d'une étude d'ACV (voir Figure 1) :

- La définition des objectifs et du champ de l'étude, visant à définir la question posée et le système d'étude (voir section 1) ;
- L'inventaire de cycle de vie, dont l'objet est de recueillir l'ensemble des données nécessaires à l'étude afin d'obtenir la compilation des ressources consommées et des substances émises par le système (voir section 0) ;
- L'évaluation des impacts de cycle de vie, qui vise à traduire les centaines voire milliers de types de ressources ou de substances issues de l'inventaire en un nombre restreint d'indicateurs environnementaux (voir section 3) ; et
- L'interprétation du cycle de vie, dont l'ambition est de formuler les conclusions et recommandations de l'étude en s'assurant de la fiabilité et de la pertinence des résultats (voir section 4).

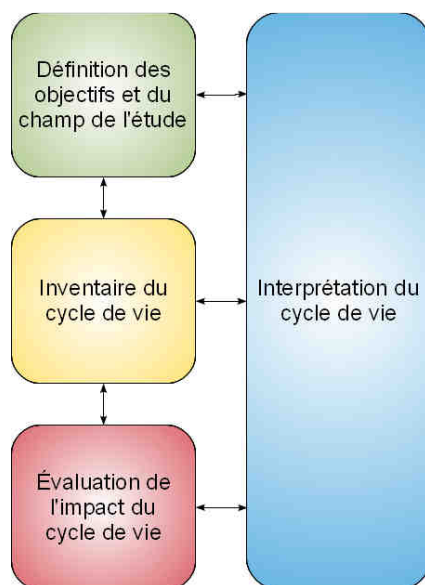


Figure 1 - Phases de réalisation d'une ACV, selon la norme ISO 14040 (ISO, 2006)

1. Phase 1 : Définition des objectifs et du champ de l'étude

1.1. Ne pas négliger l'étape de définition des objectifs de l'étude

Comme vu dans la section 2.2 du rapport « Etat de l'art » de l'étude, une grande partie des recommandations méthodologiques dépendent des objectifs de l'étude. **La première des recommandations est donc de ne pas négliger cette première étape de définition des objectifs.** Pour réaliser cette première étape, **il est conseillé de formuler tout d'abord l'objectif sous forme de questions posées, questions auxquelles l'étude cherche à apporter une réponse.** Cette explicitation sous forme de question doit permettre ensuite de définir précisément ce qui va être évalué et comment seront utilisés les résultats de l'évaluation. La formulation « réaliser l'ACV de ... » ne permet pas, en aucun cas, d'expliciter les objectifs de l'étude. A ce stade, il faut souligner que l'implication du commanditaire est essentielle, qui théoriquement devrait déjà avoir procédé à l'analyse de son besoin.

Dans le domaine du chauffage au bois comme de façon générale, il existe de nombreuses questions auxquelles l'ACV peut chercher à répondre. A titre d'exemple, les deux questions suivantes peuvent être citées :

- Question 1 (Q_{2020}) : Déterminer l'effet sur le climat de l'augmentation de la production de chaleur à partir de bois en France pour atteindre les objectifs de 2020 en termes d'utilisation d'énergie renouvelable,
- Question 2 (Q_{ch}) : Déterminer le bilan environnemental de la création d'une chaudière bois.

A partir des éléments recueillis lors de cette première étape de définition des objectifs, il est ensuite demandé de procéder à une évaluation de la « situation » de l'étude qui permettra de fournir des recommandations sur l'ensemble de la réalisation de l'ACV.

1.2. Déterminer la « situation » de l'étude

Il s'agit ici de suivre les travaux de l'ILCD qui proposent d'analyser les objectifs de l'étude selon une grille permettant de classer les études dans des catégories de situation pour lesquelles il est possible de formuler des recommandations communes en termes de méthode. **Il est donc demandé de déterminer dans quelle situation selon les propositions de l'ILCD l'étude peut être classée :**

- L'aide à la décision d'échelle micro (« Micro-level decision support » en anglais, également dénommée situation A) ;
- L'aide à la décision d'échelle méso ou macro (« Meso/macro-level decision support » en anglais, également dénommée situation B) ; et
- La comptabilité (« Accounting » en anglais, également dénommée situation C), différenciée en deux sous-types selon que l'étude vise à inclure certaines interactions entre le système étudié et d'autres systèmes (situation C1), ou non (situation C2).

Pour cela, il est proposé de suivre la démarche d'analyse décrite par l'arbre de sélection représenté en Figure 2.

La première question à se poser porte sur l'application envisagée de l'étude, et en particulier si elle a pour ambition d'appuyer une décision ou non. Si tel est le cas, l'étude à réaliser pourra être classée parmi les aides à la décision (situations A ou B) ; dans le cas contraire, elle relèvera de la comptabilité environnementale (situation C).

Si l'étude à réaliser relève de l'aide à la décision, la seconde question à se poser concerne l'ampleur des conséquences que cette décision, concernant le système de premier plan, pourra avoir sur le système d'arrière-plan et sur d'autres systèmes de la technosphère. Toutefois, le seuil entre conséquences à petite échelle (situation A) et conséquences à grande échelle (situation B) peut être difficile à définir, d'autant plus que celles-ci peuvent se réaliser à travers des mécanismes de marché, ce qui peut complexifier leur anticipation. Afin d'aider à préciser ce seuil, les travaux de l'ILCD utilisent comme critère les capacités de production ou les infrastructures des autres systèmes de la technosphère (EC-JRC, 2010) : la conséquence est considérée comme étant à grande échelle si ces capacités sont modifiées, et comme étant à petite échelle dans le cas contraire. De plus, il est important de noter qu'une situation B est identifiée si au moins une conséquence à grande échelle peut être identifiée.

Enfin, si l'étude à réaliser relève de la comptabilité environnementale, la question à se poser concerne l'intention d'inclure ou non les interactions du système d'intérêt avec d'autres systèmes. Cette inclusion peut être imposée par une norme ou une réglementation ou sinon elle relève de la propre ambition de l'étude. Les interactions concernent uniquement la présence de co-produits fournis par le système d'étude, l'utilisation par le système d'étude de matières

premières secondaires, et la génération par le système d'étude de déchets recyclables dont celui généré par la fin de vie du produit d'intérêt. Il faut souligner que ces interactions, en revanche, ne concernent pas le détournement de l'utilisation d'une ressource vers un autre usage, ni le remplacement par le produit d'intérêt d'autres produits rendant la même fonction, interactions prises en compte uniquement en approche conséquentielle de la définition du cycle de vie du système d'étude (situation B).

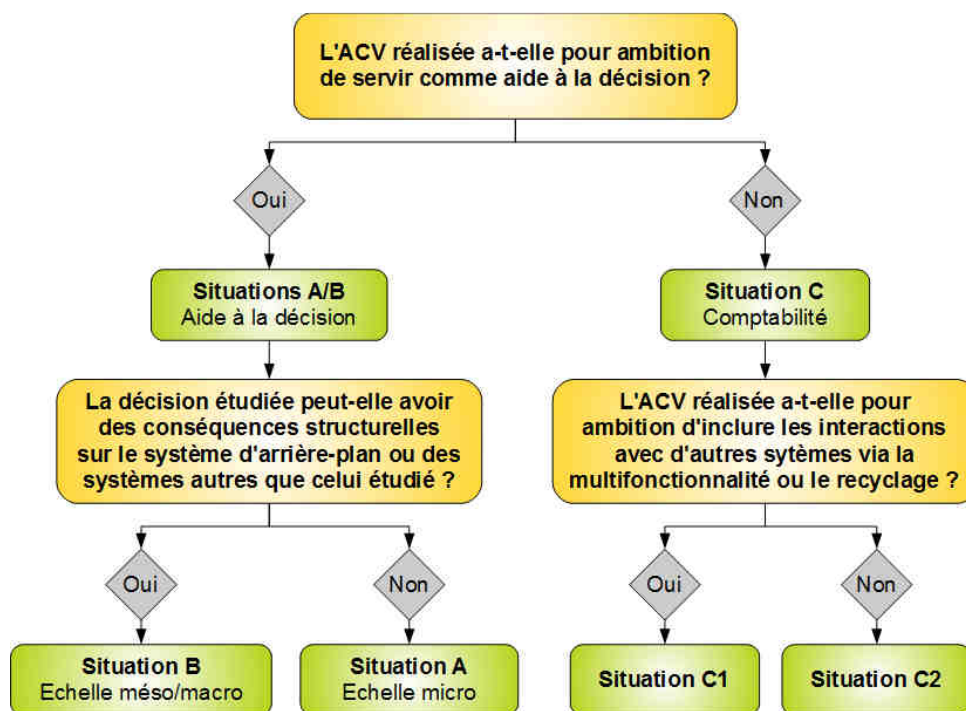


Figure 2 - Arbre de sélection du type de situation d'une étude ACV (adapté de (EC-JRC, 2010))

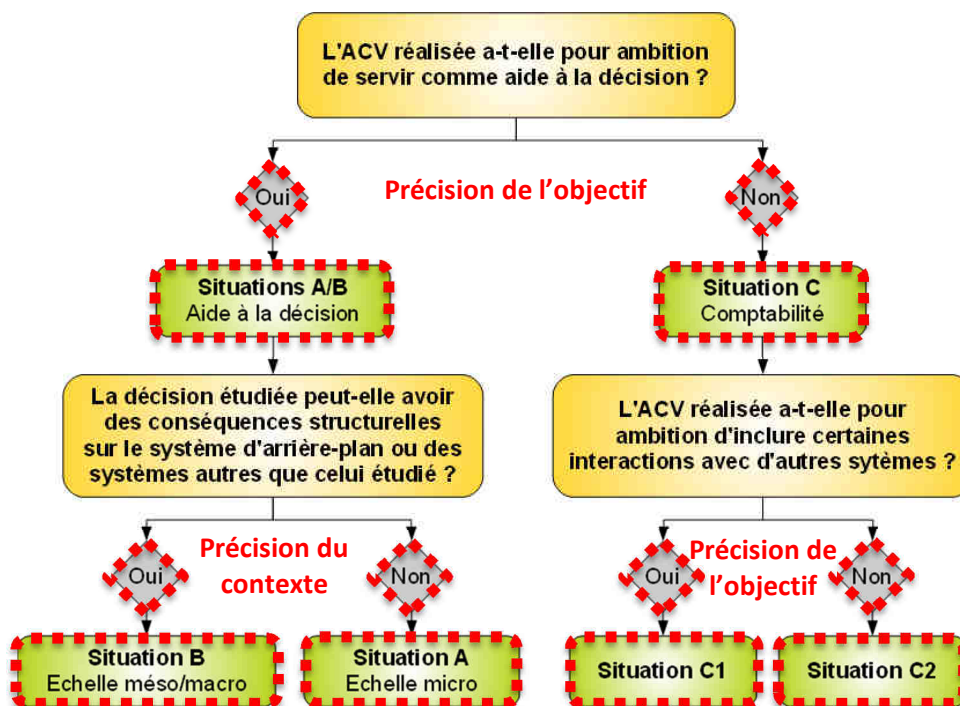
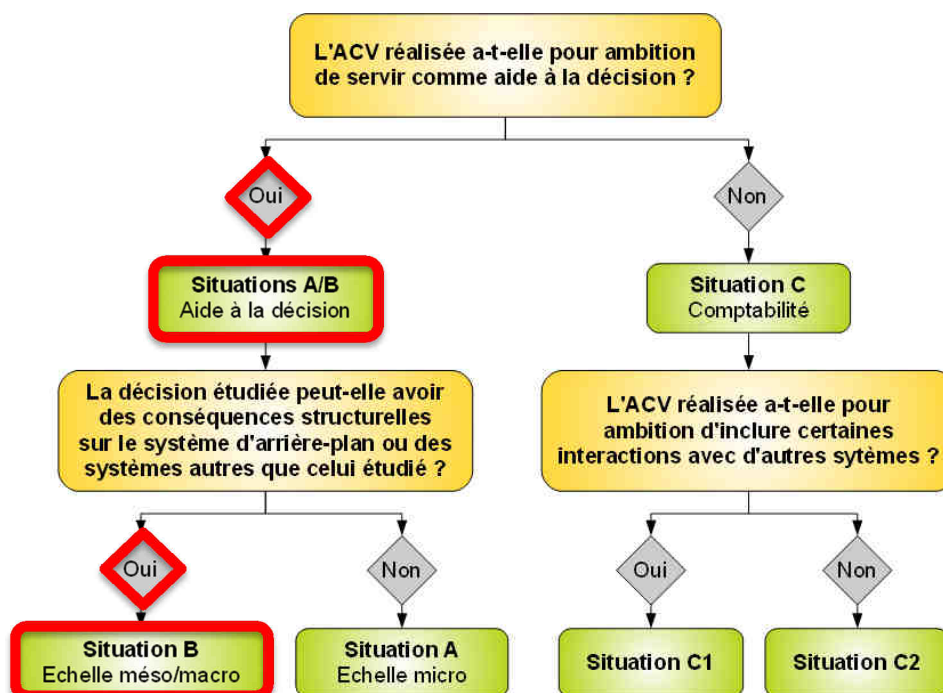
Dans la pratique, cet exercice peut s'avérer délicat.

Ainsi par exemple, concernant la question Q_{ch} , sa formulation n'est pas assez précise pour tirer des conclusions à la fois en termes d'utilisation attendue des résultats, comme en termes de contexte. En effet, il est possible d'imaginer à la fois que les résultats puissent servir à la comparaison d'organisations de filières comme de validation d'un soutien pour de nouvelles installations. Il serait également nécessaire d'obtenir des précisions sur les besoins en bois de cette nouvelle chaudière selon sa puissance, ainsi que sur la ressource bois selon son emplacement (état, mobilisation actuelle). Pour cette question, toutes les situations sont envisageables en fonction des précisions obtenues (voir Figure 3).

En revanche concernant la question Q_{2020} , il s'agit de savoir si la solution d'augmenter la part de chauffage bois pour atteindre les objectifs d'énergie renouvelable de 2020 en France est intéressante sur le plan du climat. Cette question peut s'imaginer faire partie d'une question plus large portant sur la détermination de la solution la plus favorable en termes de climat permettant d'atteindre les objectifs d'énergie renouvelable. Les résultats de l'ACV ont donc comme ambition de pouvoir aider à prendre la décision en matière de solution à retenir pour atteindre les objectifs Energie renouvelable que s'est fixée la France à l'horizon 2020. Pour cette décision d'ampleur nationale, des modifications significatives du mix énergétique, ainsi que de la mobilisation de bois et de ses usages, sont à attendre. Par conséquent, l'étude ACV se place clairement en situation B selon l'arbre de sélection (voir Figure 4).

La situation de l'étude permettra par la suite de choisir l'approche à retenir en termes de :

- Définition des frontières du cycle de vie du système d'étude (voir section 1.5) ;
- Gestion de la multifonctionnalité (voir section 1.4) ;
- Représentativité attendue des données (voir section 1.6).


 Figure 3 - Arbre de sélection de la situation de l'étude ACV à mener pour Q_{ch} en fonction des précisions obtenues

 Figure 4 - Arbre de sélection de la situation de l'étude ACV à mener pour Q_{2020}

1.3. Déterminer la fonction principale d'étude, l'unité fonctionnelle, et flux de référence

La mise à disposition d'un produit, bien matériel ou service, n'a d'intérêt que pour la ou les fonctions que celui-ci remplit. Un des principes fondamentaux de l'ACV est de définir parmi ces fonctions une fonction principale, qui servira de base à l'évaluation des impacts. Ce principe prend particulièrement son sens lors d'études comparatives, pour lesquelles il permet d'éviter les biais de comparaisons en définissant une fonction commune et équivalente.

Il est donc demandé à ce stade du déroulement de l'étude de **déterminer la fonction principale étudiée. Ce choix doit se faire au regard de la question posée.**

Par exemple, la fonction principale peut être définie comme :

- Pour la question Q_{2020} , la production de chaleur supplémentaire nécessaire sur le territoire français pour atteindre les objectifs d'utilisation d'énergie renouvelable ; et
- Pour la question Q_{ch} , la production de chaleur fournie par la future chaudière.

Dans l'application de l'ACV à la production d'énergie à partir de biomasse ligneuse, la fonction rendue peut s'exprimer de différentes manières suivant la question posée. Cette expression peut varier selon :

- Le niveau dans la chaîne des processus énergétiques : l'exploitation d'un territoire pour produire de la biomasse à usage énergétique en partie ou en totalité, la mise à disposition de combustible (ex : approvisionner en combustible englobant sa production et sa distribution), la production ou mise à disposition d'énergie (ex : produire de l'énergie englobant production et distribution du combustible, ainsi que le système de conversion énergétique), ou encore le service rendu par le processus énergétique final (ex : assurer le chauffage d'une maison, englobant l'ensemble des processus) ;
- La nature du combustible (bois, charbon, ...) ou du système de conversion (thermique, électrique, ...) ;
- L'étendue du système étudié (une installation bien spécifique ou la production d'un mix énergétique).

L'expression de la fonction doit permettre également d'indiquer si l'étude s'intéresse ou non à évaluer un service rendu de façon additionnelle par rapport à une référence (ex production de biomasse additionnelle par rapport à un scénario de production de biomasse de référence).

Une fois la fonction principale clairement identifiée, la définition d'une unité fonctionnelle a pour objectif de pouvoir quantifier la fonction rendue. L'ensemble des flux et des impacts environnementaux évalués est alors rapporté à cette unité. Pour cela, l'unité fonctionnelle choisie doit être mesurable et additive : l'impact de deux unités fonctionnelles doit être le double de l'impact d'une unité fonctionnelle. Les recommandations de l'ILCD soulignent que l'unité fonctionnelle doit bien souvent intégrer des éléments de qualité de la fonction rendue (EC-JRC, 2010).

Par exemple, l'unité fonctionnelle peut être définie comme :

- Pour la question Q_{2020} , 1 MJ de chaleur additionnelle produit sur le territoire français ;
- Pour la question Q_{ch} , 1 MJ de chaleur fournie par la future chaudière.

Enfin, l'unité fonctionnelle est déclinée en flux de référence. Dans le cadre d'une comparaison notamment, l'unité fonctionnelle est commune à tous les systèmes tandis que les flux de référence sont spécifiques à chacun des systèmes étudiés, précisant la quantité de produit nécessaire pour assurer la fonction visée. Ainsi, la fonction de production de 1 MJ de chaleur peut être assurée par un flux de référence défini par une certaine surface pour un système solaire thermique et par une certaine quantité de combustible pour un système de combustion (variable selon les caractéristiques du combustible et du système de conversion).

1.4. Identifier les éventuelles autres fonctions du système d'étude et choisir la solution pour résoudre la multifonctionnalité

Il est également nécessaire de déterminer si le système d'étude rend d'autres fonctions que celle faisant l'objet de l'étude. Dans le domaine du chauffage bois, cette multifonctionnalité peut se rencontrer à plusieurs niveaux, en particulier :

- Au niveau de l'étape de production de l'énergie, qui peut générer de l'énergie sous plusieurs formes (chaleur ou électricité),
- Au niveau de l'étape de sciage, qui génère également des connexes,

- Au niveau de l'étape de production de la biomasse forestière, cette étape pouvant :
 - Produire différents types de bois, de différentes qualités et pour différentes finalités, généralement différenciés en bois d'œuvre, bois d'industrie / bois énergie, et menus bois (voir Figure 5) (Colin et al., 2009) ;
 - Mettre à disposition un espace récréatif pour le public, fonction pour laquelle il n'existe pas encore de méthode satisfaisante pour la prendre en compte.

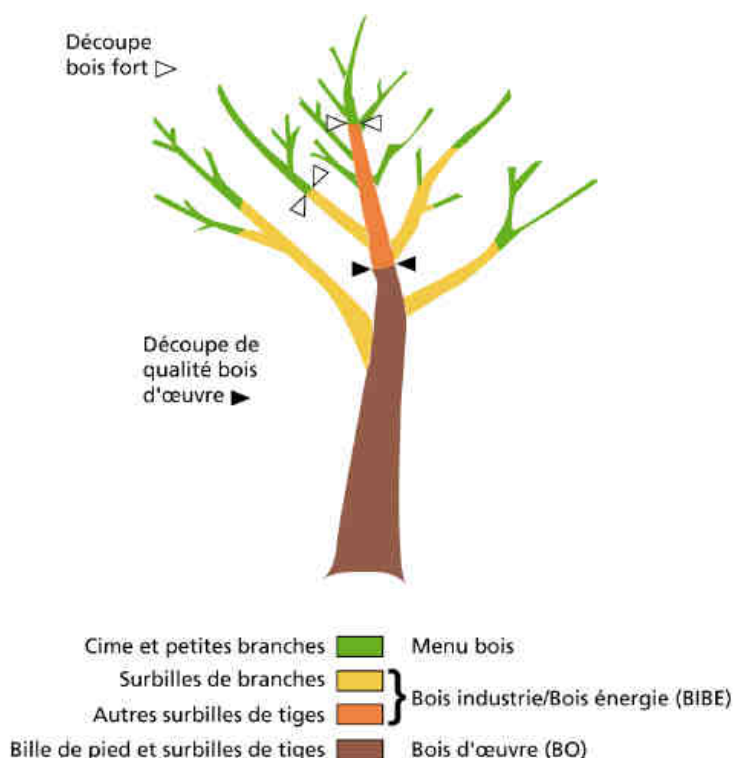


Figure 5 - Localisation dans l'arbre des principales classes et compartiments de bois : bois d'œuvre, bois d'industrie / bois énergie, et menus bois (Colin et al., 2009)

Dans un cas de multifonctionnalité, il est nécessaire de résoudre cette multifonctionnalité pour pouvoir être en mesure de rapporter un résultat à la fonction d'étude. En premier lieu, **il est demandé de regarder s'il n'est pas possible de résoudre la multifonctionnalité en subdivisant le processus unitaire** afin de pouvoir éventuellement distinguer des sous-processus indépendants. **Si la subdivision des processus n'est pas suffisante, alors le choix de cette résolution doit se faire en fonction de la situation de l'étude** (voir Tableau 1) :

- En situations A, B et C1 (définies en section 1.2), en faisant appel à de l'élargissement du système pour supprimer la fonction non requise,
- En situation C2 (définie en section 1.2), en faisant appel à de l'affectation.

	Type d'objectif de l'étude ACV à réaliser (voir section 1.2)			
	Situation B	Situation A	Situation C1	Situation C2
Préférence en termes de gestion de la multifonctionnalité ⁽¹⁾	Elargissement du système	Elargissement du système	Elargissement du système	Affectation

Légende :

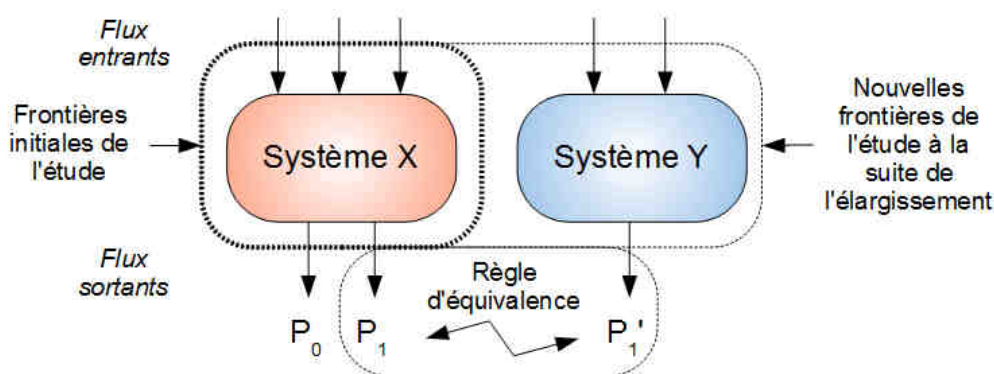
- : Choix méthodologique relevant d'une approche conséquentielle
- : Choix méthodologique relevant d'une approche attributionnelle

⁽¹⁾ : Préférence à appliquer dans le cas où la subdivision des processus n'est pas suffisante.

Tableau 1 – Recommandations en matière de gestion de la multifonctionnalité selon la situation de l'étude (adapté de (EC-JRC, 2010))

Résolution par élargissement du système

Il s'agit avec cette solution d'utiliser les interactions avec d'autres systèmes générées par la présence de co-produits, par l'utilisation de matières premières secondaires, ou encore par la génération de déchets recyclables dont celui généré par la fin de vie du produit d'intérêt, pour résoudre la multifonctionnalité.



$$\text{Impact}(P_0) = \text{Impact}(\text{Système X}) - \text{Impact}(\text{Système Y})$$

Figure 6 - Principe d'une résolution de la multifonctionnalité par élargissement du système

Dans le cas où il est recommandé de faire appel à de l'élargissement du système, l'identification des processus (système Y de la Figure 8) que la fonction non requise (P_1 de la Figure 8) remplace doit se faire également en fonction de la situation de l'étude (voir Tableau 2) :

- En situation B pour la partie du système où il y a des conséquences à grande échelle (voir section 1.2), ces processus sont représentés par l'évolution marginale du marché en réponse à la production de P_1 ; et
- En situation A et C1, ou en situation B pour la partie du système où il n'y a sans conséquence à grande échelle, ces processus sont représentés par le mix moyen alternatif du marché rendant la même fonction.

	Type d'objectif de l'étude ACV à réaliser (voir section 1.2)		
	Situation B	Situation A	Situation C1
Identification des processus substitués en élargissement du système	Evolution marginale du marché	Mix moyen du marché	Mix moyen du marché

Légende :

- : Choix méthodologique relevant d'une approche conséquentielle
- : Choix méthodologique relevant d'une approche hybride attributionnelle / conséquentielle

Tableau 2 - Recommandations en matière d'élargissement du système selon la situation de l'étude (adapté de (EC-JRC, 2010))

Ceci peut être illustré par le cas d'une cogénération de chaleur et d'électricité pour laquelle la fonction principale d'intérêt est la production de chaleur. La production d'électricité est alors gérée par élargissement du système, en considérant que cette électricité se substitue :

- En situations A et C1, ou en situation B dans le cas de conséquences à petite échelle, au mix électrique moyen de la zone considérée, soit France ou Europe par exemple ;
- En situation B, dans le cas de conséquences à grande échelle, à l'évolution marginale de ce mix électrique en réponse à cette nouvelle production d'électricité, c'est-à-dire que sont considérées lors de cet élargissement du système les filières de production d'électricité qui seront préférentiellement substituées lors de la mise sur le réseau de l'électricité issue de la cogénération.

Ceci peut être également illustré par la co-production de BO avec la production de BIBE au niveau de l'exploitation d'un peuplement forestier. La production de BO est alors gérée par élargissement du système, en considérant que ce BO se substitue :

- En situations A et C1, ou en situation B dans le cas de conséquences à petite échelle, au mix moyen marché des produits rendant les mêmes fonctions (charpentes, bardages, ...), de la zone considérée ;
- En situation B, dans le cas de conséquences à grande échelle, à l'évolution marginale de ce mix en réponse à cette nouvelle production de BO, c'est-à-dire que sont considérées lors de cet élargissement du système les filières de production des produits qui seront préférentiellement substitués lors de la mise sur le marché des produits fabriqués à partir de cette nouvelle production de BO.

Il est à noter que le mix, qu'il soit marginal ou moyen, se définit en excluant la part de marché qu'occupe le système d'étude. Une analyse est donc à mener sur l'échelle du marché sur lequel la co-fonction intervient et quelle part de marché le système d'étude occupe.

Il faut souligner également que les interactions traitées dans la résolution de la multifonctionnalité par élargissement du système sont à différencier de celles concernant le remplacement (appelé également substitution) que peut générer le produit d'intérêt ou encore le détournement d'une ressource d'un usage à un autre, qui peuvent être incluses par définition des frontières en approche conséquentielle (situation B).

Résolution par affectation

Dans le cas d'affectation, si l'évaluation est réalisée dans un cadre normatif d'application de l'ACV qui précise les règles d'affectation (par exemple Product Category Rules (PCR)) ou de la même manière dans un cadre réglementaire, il faut suivre les exigences de ces textes en la matière. C'est par exemple le cas des évaluations de biocarburants réalisées dans le cadre de la directive 2009/28/CE, qui définit des critères de durabilité des carburants issus de la biomasse et impose pour le calcul de ces critères une règle d'affectation énergétique (European Commission, 2009).

Sinon, il est conseillé de suivre les recommandations des travaux de l'ILCD en matière d'affectation, qui préconisent tout d'abord de choisir une règle d'affectation permettant de refléter la causalité physique entre les consommations de ressources ou émissions d'une part, et les co-fonctions d'autre part. Il s'agirait par exemple, :

- Dans le cas du traitement conjoint de différents déchets par incinération, de n'allouer les flux d'émissions soufrées qu'au traitement de déchets contenant du soufre ;
- Dans le cas de la production de biomasse additionnelle à partir de la récolte d'une surdensité de plantation dès la première éclaircie (itinéraire sylvicole « semi-dédié »), de n'allouer que le travail supplémentaire à cette production de biomasse (ex labour en plein au lieu de labour en bande, fertilisation additionnelle, plants additionnelle, ...).

S'il n'est pas possible de trouver une causalité physique, alors les travaux de l'ILCD recommandent l'application d'une affectation au prorata de la valeur économique des différentes co-fonctions (EC-JRC, 2010) (voir Figure 7). Toutefois, l'application d'une telle règle peut s'avérer difficile en pratique, compte tenu par exemple de la fluctuation des prix sur les marchés économiques, pouvant conduire alors à procéder à de l'allocation au prorata d'une valeur physique, tel que la masse anhydre ou le contenu énergétique.

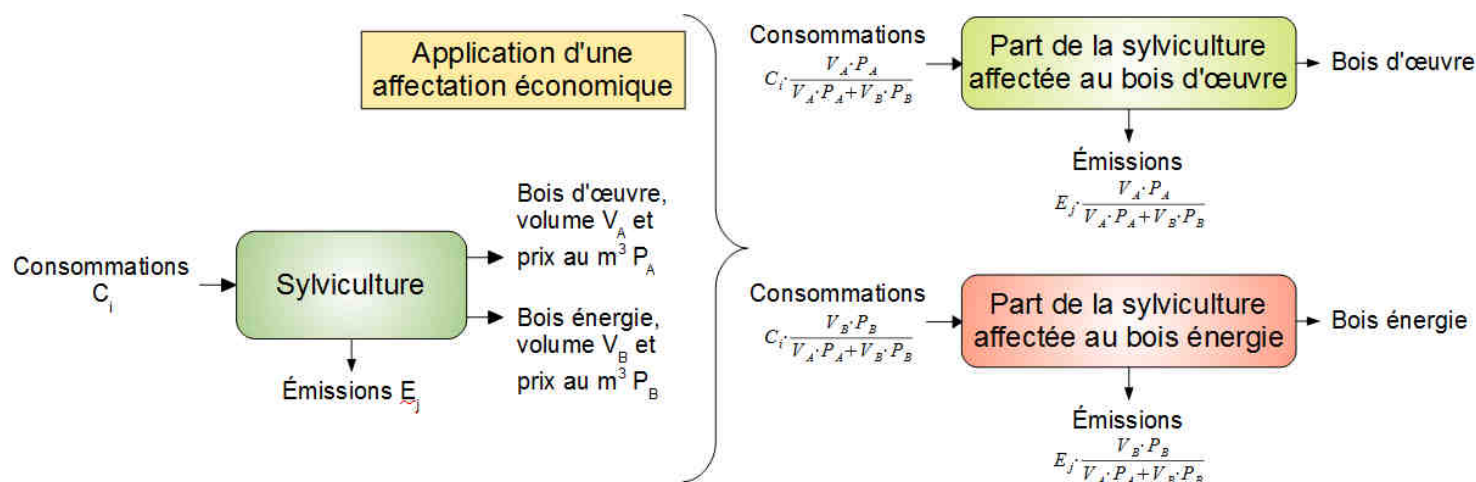


Figure 7 - Principe d'une résolution d'affectation par prorata : cas d'une affectation économique

1.5. Définir les frontières du système

L'ACV s'inscrit dans une approche et un mode de représentation systémiques du monde. De ce point de vue, le système à étudier s'inscrit dans le monde économique, appelé également technosphère en ACV et constitué de l'ensemble des activités anthropiques, lui-même s'inscrivant dans son environnement naturel, appelé également écosphère en ACV et incluant l'atmosphère, la biosphère, et la lithosphère (voir Figure 8).

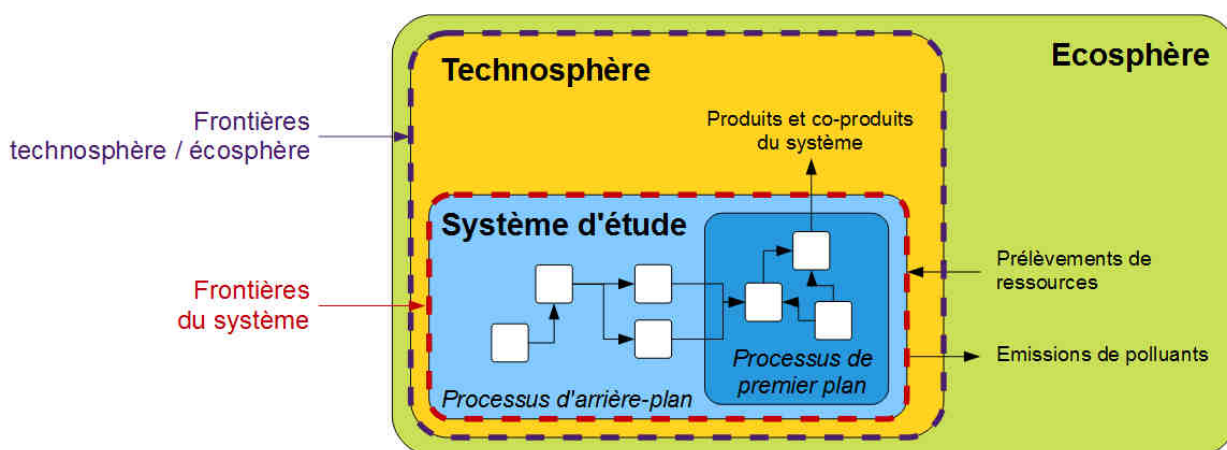


Figure 8 - Représentation simplifiée de l'approche systémique en ACV et des interactions entre systèmes (adaptée de (Jolliet et al., 2010))

1.5.1. Définir l'approche retenue pour définir les frontières du système et préciser les processus inclus dans les frontières du système

L'approche à retenir pour définir les frontières du système doit se faire en fonction de la situation de l'étude (voir Tableau 3) :

- En situations A, C1 et C2 (voir section 1.2), adopter une approche attributionnelle,
- En situation B (voir section 1.2), adopter une approche conséquentielle.

	Type d'objectif de l'étude ACV à réaliser (voir section 1.2)			
	Situation B	Situation A	Situation C1	Situation C2
Définition des frontières du système	Cycle de vie du produit d'intérêt, et processus de la technosphère affectés par les conséquences à grande échelle de la décision étudiée	Cycle de vie du produit d'intérêt	Cycle de vie du produit d'intérêt	Cycle de vie du produit d'intérêt

Légende :



-  : Choix méthodologique relevant d'une approche conséquentielle
-  : Choix méthodologique relevant d'une approche attributionnelle

Tableau 3 - Recommandations en matière de définition des frontières du système selon la situation de l'étude (adapté de (EC-JRC, 2010))

En approche attributionnelle

En approche attributionnelle, les frontières du système ont pour objectif de décrire le cycle de vie d'un produit, en se concentrant sur les échanges de matière, d'énergie ou de service (EC-JRC, 2010). D'un point de vue pratique, les travaux de l'ILCD recommandent de définir le système d'étude par une démarche itérative, en identifiant tout d'abord **les processus primaires connectés à la fonction principale du système, puis les processus secondaires connectés aux processus primaires**, et ainsi de suite. Ces connexions peuvent être de trois types, illustrés notamment ci-dessous dans le cas où la fonction principale étudiée est la production de chaleur à partir de biomasse (voir Figure 9) :

- Les liens matériels, incluant par exemple la biomasse d'où est tirée la chaleur produite par combustion, ou les cendres issues de la combustion de la biomasse ;
- Les liens fonctionnels, incluant par exemple la production d'une chaudière nécessaire à la combustion de biomasse, ou la présence d'infrastructures de transport pour assurer un service de transport ;
- Les services, incluant par exemple les interventions de maintenance pour assurer le bon fonctionnement d'une chaudière, ou l'existence d'un service administratif ou de gardiennage dans le cas du fonctionnement d'une usine.

Il faut noter qu'au niveau de l'étape de production de la biomasse, la description du système, lorsque cette étape est considérée faire partie de la technosphère (voir section 1.5.2), peut inclure une transformation (changement d'occupation ou évolution de pratique sylvicole) si l'occupation en est à l'origine.

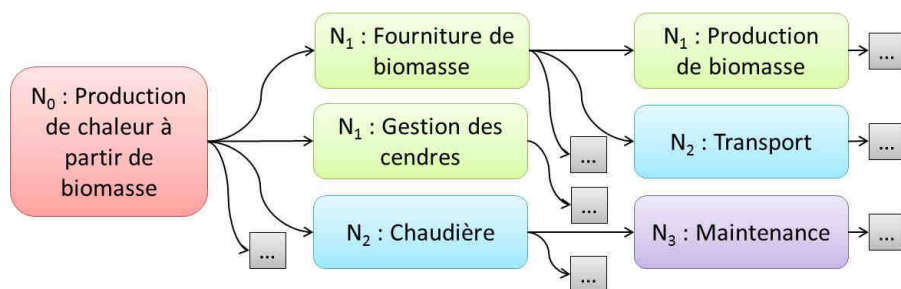


Figure 9 - Exemple simplifié de cycle de vie, distinguant la fonction principale du système (N_0) et les processus de la technosphère qui y sont connectés par des liens matériels (N_1), fonctionnels (N_2), ou de service (N_3) (adapté de (EC-JRC, 2010))

En approche conséquentielle

En approche conséquentielle, les frontières du système n'ont plus pour objectif de décrire le cycle de vie du produit étudié, mais de décrire les conséquences de la décision étudiée. La description du cycle de vie du produit, telle qu'elle est réalisée en approche attributionnelle, est alors toujours nécessaire, mais le praticien doit également fournir un travail supplémentaire de modélisation afin d'**identifier les processus de la technosphère qui ne font pas partie du cycle de vie du produit mais qui vont être affectés par la décision prise sur ce produit**. Cela nécessite alors un travail de projection afin de déterminer, à partir d'un état initial de la technosphère, comment celle-ci évoluerait en absence de décision, ce qui constitue un **scénario de référence**, et comment celle-ci évoluerait dans le cas où la décision étudiée est effectivement prise, ce qui constitue le **scénario d'étude**. La comparaison de ces deux scénarios permet alors d'identifier l'ensemble des processus de la technosphère à inclure dans les frontières du système en approche conséquentielle.

D'un point de vue pratique, les travaux de l'ILCD ne proposent pas de méthode ou d'outil pour réaliser ce travail de projection. Toutefois, différentes compétences et expertises à mobiliser pour définir les frontières du système en approche conséquentielle, en plus de l'expertise en ACV, sont citées, parmi lesquelles (EC-JRC, 2010) :

- L'expertise sur le développement technologique, incluant la représentation de courbes d'apprentissage par exemple ;
- Le développement de scénarios ;
- La projection de marchés et de coûts de marchés ;
- La modélisation de coûts de technologies ; et
- La modélisation économique d'équilibre général ou d'équilibre partiel.

Dans le cas des systèmes de chauffage au bois, les potentielles conséquences à prendre en compte en approche conséquentielle peuvent par exemple être :

- Les effets de remplacement (dit également substitution) générés par la chaleur additionnelle produite (la chaleur additionnelle produite par la biomasse remplace la chaleur produite par le mix marginal du marché sur lequel intervient l'énergie biomasse additionnelle) ; ces effets sont pris en compte en retranchant le bilan du mix marginal marché au prorata de la quantité d'énergie additionnelle produite ;
- Les effets de détournement de l'usage d'une ressource vers un autre usage, comme par exemple le détournement de bois d'œuvre vers un usage énergétique (modifications d'équilibre entre les différentes filières de valorisation du bois, incluant la production de bois matériau et la papeterie) ;
- Les modifications indirectes de gestion forestière, engendrées par une augmentation du prix de marché du bois énergie ou par les modifications d'équilibre entre filières citées ci-dessus ;
- Les améliorations d'efficacité dans les procédés de transformation, si celles-ci ont été favorisées par un prix accru du bois énergie ;
- Les modifications structurelles du secteur énergétique, liées aux approvisionnements énergétiques substitués par le bois énergie ; ou
- Les effets rebond chez le consommateur, incluant par exemple une moindre sobriété énergétique due à une amélioration des performances environnementales de la source d'énergie utilisée, ou à la création de nouvelles dépenses due à une réduction du coût du service énergétique.

1.5.2. Au niveau de l'étape de production de la biomasse, préciser si l'occupation forestière relève de la technosphère ou de l'écosphère

Pour les produits issus du vivant, la biosphère anthropique, sur laquelle généralement ils reposent, se situe par définition à la fois au sein de la technosphère et de l'écosphère. Selon son mode de production, une ressource végétale pourra alors être vue soit comme une ressource naturelle prélevée de l'écosphère, soit comme un produit intermédiaire de la technosphère. Dans le cas des systèmes de chauffage au bois, cette question se pose au niveau de l'étape forestière.

Afin de pouvoir y répondre, il est recommandé de se référer aux travaux de la SETAC publiés en 2002 visant à définir si une production végétale ou animale, quelle qu'elle soit, est à considérer comme une activité humaine ou non (Lindeijer et al., 2002). Selon les critères définis par ces travaux, la production végétale ou animale peut être considérée suffisamment anthropique pour être classée comme une activité de la technosphère si l'action de l'homme permet d'accroître :

- Le taux de reproduction de la population, en favorisant l'insémination ou en prenant soin des jeunes individus (exprimé par « nursing » en anglais, qui peut être traduit aussi bien par l'allaitement que par les activités de pépinière) ; ou
- L'espérance de vie moyenne de la population, en nourrissant ou en fertilisant, ou en assurant une protection contre les prédateurs, les ravageurs ou les espèces concurrentes.

Il est donc nécessaire **pour chaque source d'approvisionnement en biomasse (sauf si elles sont des produits de la valorisation d'un déchet), de déterminer si les forêts d'où elles sont issues sont considérées comme anthropiques et donc faisant partie de la technosphère ou comme non anthropiques et donc relevant de l'écosphère**. La Figure 10 illustre cette distinction entre technosphère et écosphère dans les deux cas de forêts anthropiques ou non anthropiques. Comme le montre cette Figure 10, la notion de frontière entre écosphère et technosphère est indépendante de considérations géographiques.

Il est demandé à ce niveau de réalisation de l'ACV **d'expliciter les critères retenus pour effectuer cette distinction**. Dans le cadre de ces recommandations, il est proposé d'appliquer les règles suivantes, basées sur la notion de gestion sylvicole :

- La récolte de produits ou de ressources forestières, qui a lieu physiquement en forêt, est toujours un processus relevant de la technosphère, indépendamment du fait que la forêt elle-même soit considérée comme relevant de la technosphère ou de l'écosphère ;
- La récolte, lorsqu'elle a également un rôle sylvicole, du type réduire la compétition entre les végétaux/favoriser le développement des arbres maintenus, ou encore stimuler la régénération naturelle (exemple les éclaircies ou les coupes d'ensemencement, les coupes de maturité), est considérée également comme une opération sylvicole, classant à elle seule les forêts comme anthropiques ;
- De façon générale, toute autre opération sylvicole (travail du sol, amendement, plantation, fertilisation, débroussaillage, dépressage, ouverture de cloisonnement, dessouchage, ...) classe les forêts comme anthropiques ;
- Toute forêt ne rentrant pas dans la catégorie anthropique est considérée comme non anthropique ; par exemple des forêts primaires ou des peuplements secondaires spontanés non gérés, faisant l'objet d'aucune intervention sylvicole.

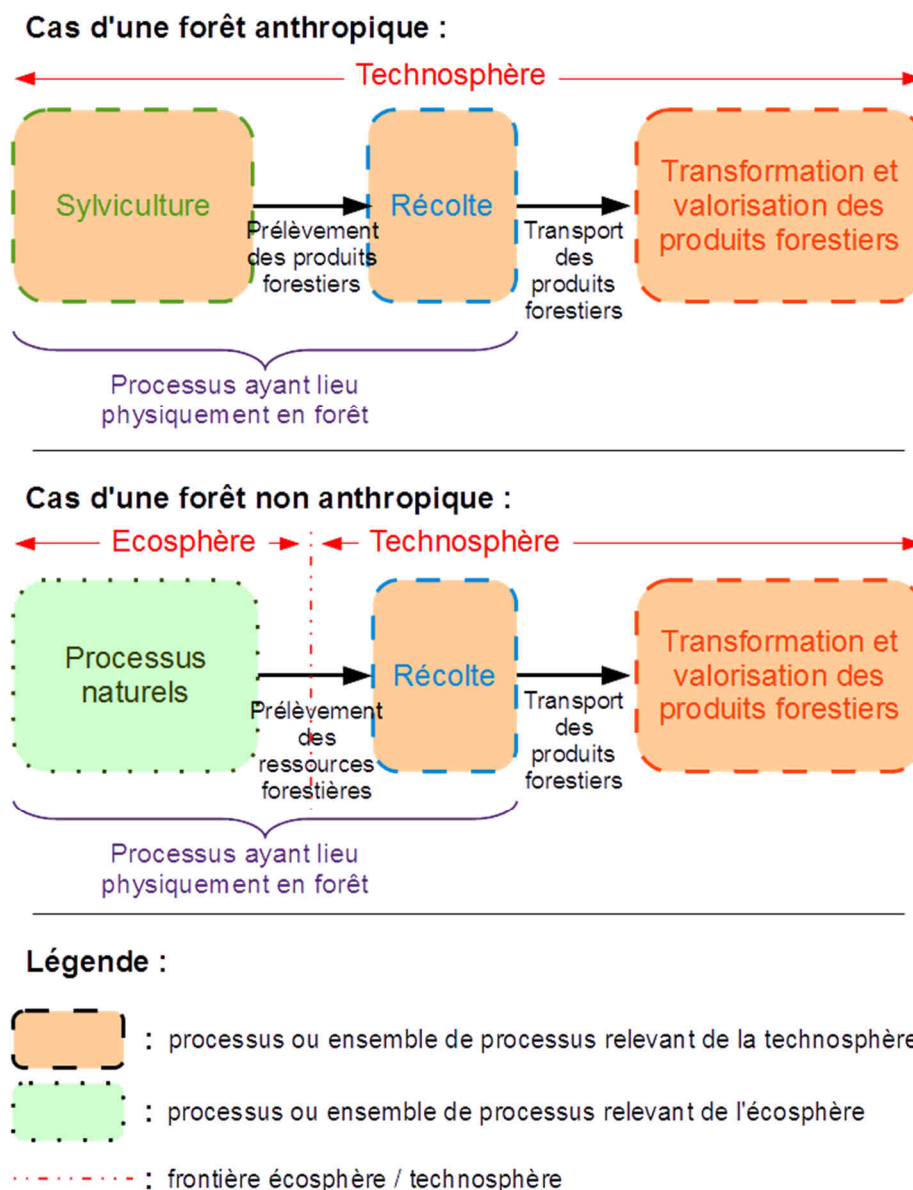


Figure 10 - Distinction entre la technosphère et l'écosphère selon les types de forêt (anthropique ou non anthropique)

Cette distinction a des conséquences en termes de modélisation de l'étape de production de la biomasse, ainsi qu'en termes d'évaluation des impacts. Dans le cadre de cette étude, seules les forêts anthropiques, cas intéressant majoritairement la France, ont fait l'objet de développements et de recommandations.

1.5.3. Choisir et expliciter les dimensions spatio-temporelles de l'occupation forestière, dans le cas de forêts anthropiques

Dans le cas d'approvisionnement bois provenant de forêts anthropiques, l'occupation forestière est donc à inclure dans les frontières du système. Une description en est alors nécessaire. Cette description peut s'effectuer de différentes manières (parcelle versus ensemble de parcelles, cycle versus horizon fixé ou infini, théorique versus spatialisée) avec des conséquences sur les éléments d'intérêt que sont les stocks de carbone biogénique et la productivité en bois. Il est possible d'en distinguer deux approches, présentant chacune des intérêts et inconvénients :

- La parcelle produisant la biomasse d'intérêt : cette approche permet de prendre en compte les interactions biologiques entre les arbres existant à l'échelle d'un peuplement, de déterminer un stock moyen et une

productivité moyenne sur une révolution, représentatif également d'un ensemble de parcelles à l'équilibre, ainsi que de décrire des variations de stocks indépendantes de l'échelle spatiale considérée ; sa description sous la forme d'une succession d'occupations, nécessaire pour la prise en compte de l'usage du sol en ACV, est aisée ; en revanche, elle ne permet pas de tenir compte d'un déséquilibre dans la distribution des classes d'âge qui peut s'observer à l'échelle d'un territoire ;

- Un ensemble de parcelles produisant la biomasse d'intérêt : cette approche permet de tenir compte de la distribution des classes d'âge sur un territoire considéré, mais les résultats sont dépendants de l'échelle spatio-temporelle retenue et donc non généralisables ; par ailleurs avec cette approche, la description du système présente des difficultés supérieures à celles rencontrées avec l'approche à la parcelle, de façon générale et en particulier pour répondre au cadre conceptuel de la prise en compte de l'usage du sol en ACV décrite sous la forme d'une succession d'occupations.

En attente de nouveaux travaux sur cette problématique, il peut être recommandé :

- Pour la description à la parcelle, de décrire l'occupation forestière sur :
 - Une révolution, en approche attributionnelle ;
 - L'infini, en approche conséquentielle ; il faut noter qu'avec certaines méthodes d'évaluation, cette description peut être simplifiée (voir sections 1.2 et 2.3 de la partie 2 du rapport de l'étude) ;
- Pour la description à l'échelle d'un ensemble de parcelle (territoire, massif), de décrire l'occupation forestière à minima sur l'horizon temporel de sa gestion et de procéder à des analyses de sensibilité des résultats au choix de cette horizon.

Au stade d'aujourd'hui, il faut noter également que l'approche à la parcelle est l'approche la plus aisée, la plus générique et la plus appliquée en ACV (ecoinvent, FCBA).

1.5.4. Préciser les processus de la technosphère exclus des frontières du système

En théorie, l'ensemble des processus identifiés selon les recommandations données en section 1.5.1 sont à considérer au sein des frontières du système. En pratique toutefois, selon la question posée ou la disponibilité des données, il peut être possible ou nécessaire d'exclure certains processus du système d'étude. C'est pourquoi, le cas échéant, il est indispensable de **préciser quels sont les processus de la technosphère qui n'ont pas pu être comptabilisés** (par exemple, la production et la maintenance de certaines infrastructures comme les routes).

1.5.5. Distinguer les processus de premier plan et ceux d'arrière plan

Enfin, au sein du système d'étude, il peut également être utile de distinguer les processus dits de premier plan, qui sont les principaux processus d'intérêt de l'analyse, de ceux dits d'arrière-plan. Cette distinction est subjective et dépend notamment de la question posée et des commanditaires de l'étude, mais elle peut permettre de différencier les règles de modélisation et les exigences en termes de qualité des données. Par exemple, si les commanditaires de l'étude sont des fabricants de granulés bois, les processus de premiers plan seront d'avantage l'étape de fabrication des granulés que celles de production des machines forestières. A contrario, si les commanditaires de l'étude sont des coopératives forestières, la production des machines forestières pourraient devenir un processus de premier plan, en fonction des objectifs de l'étude.

1.6. Préciser la représentativité attendue des données

Il est **recommandé de déterminer la représentativité attendue des données** :

- La représentativité géographique, temporelle et technologique, qui dépend du système étudié ;
- Le caractère moyen ou marginal des données utilisées, qui dépend de la situation de l'étude (voir Tableau 4) :
 - En situations A, C1 et C2 (voir section 1.2), privilégier des données moyennes,
 - En situation B (voir section 1.2), privilégier des données marginales.

	Type d'objectif de l'étude ACV à réaliser (voir section 1.2)			
	<i>Situation B</i>	<i>Situation A</i>	<i>Situation C1</i>	<i>Situation C2</i>
Représentativité des données utilisées lors de l'inventaire	Marginale	Moyenne	Moyenne	Moyenne

Légende :

- : Choix méthodologique relevant d'une approche conséquentielle
 : Choix méthodologique relevant d'une approche attributionnelle

Tableau 4 – Recommandations sur le caractère moyen ou marginal des données selon le type d'objectif (adapté de (EC-JRC, 2010))

2. Phase 2 : Inventaire du cycle de vie

La phase d'inventaire de cycle de vie présente peu de difficultés méthodologiques. Parmi celles-ci, les problèmes de gestion de la multifonctionnalité et de qualité des données ont été traités respectivement aux sections 1.4 et 1.6. Les sections 2.1 à 2.3 suivantes sont quant à elles consacrées aux spécificités de l'inventaire vis-à-vis de la prise en compte des processus de transformation et d'occupation d'usage des sols.

Pour rappel, un processus de transformation d'usage des sols désigne aussi bien un changement d'usages qu'un changement de pratiques sylvicoles.

2.1. Identifier les processus de transformation et d'occupation d'usage des sols à considérer

En ACV, la définition des frontières du système est l'étape qui identifie, de façon générale, les processus à considérer au sein d'une étude. Cette règle s'applique également aux **processus d'occupation et de transformation, qui doivent donc être identifiés en accord avec les frontières du système**. Par conséquent, l'intégration des processus de transformation et d'occupation d'usage des sols dépend de la situation d'objectif de l'étude :

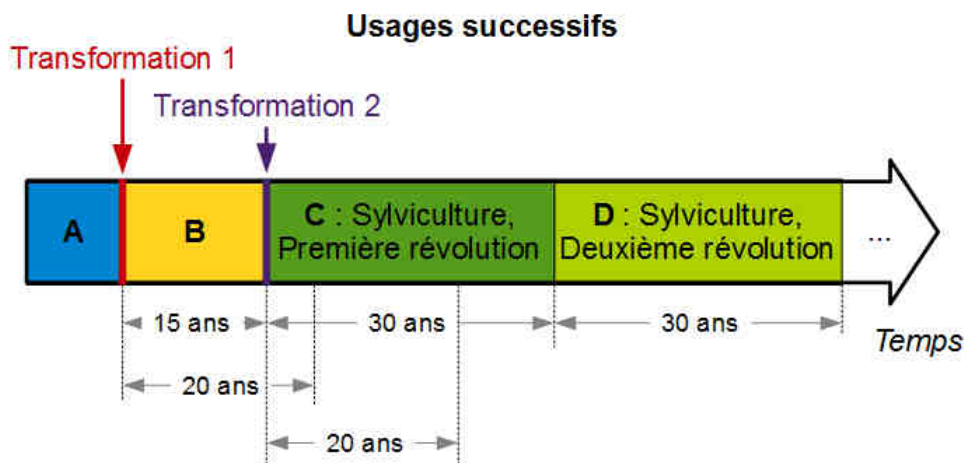
- En situation C2, les usages des sols à considérer sont uniquement ceux relevant directement du cycle de vie du produit étudié ; les transformations ainsi identifiées sont généralement appelées dans la littérature « changements d'affectation des sols directs ».
- En situations C1 et A, les usages des sols à considérer sont ceux relevant directement du cycle de vie du produit étudié, auxquels s'ajoutent les usages des sols correspondant aux systèmes pris en compte via l'élargissement du système, c'est-à-dire substitués par les co-produits valorisés du système d'étude ou les déchets recyclés.
- En situation B, les usages des sols à considérer sont ceux relevant du cycle de vie du produit étudié, ceux correspondant aux systèmes pris en compte via l'élargissement du système, et ceux des systèmes affectés par la décision étudiée, notamment via des mécanismes économiques ; les transformations correspondant à ce dernier type, c'est-à-dire issues des conséquences de la décision étudiée via des mécanismes économiques, sont généralement appelées dans la littérature « changements d'affectation des sols indirects ».

D'un point de vue temporel, en accord avec les recommandations de l'ILCD (EC-JRC, 2010), **tous les processus de transformation d'usage des sols ayant eu lieu au cours des 20 ans précédant le début du champ temporel de l'étude doivent être pris en compte dans l'étude**.

2.2. Allouer un processus de transformation d'usages des sols à des usages successifs

Une transformation d'usages des sols pouvant être suivie par une succession d'usages, un processus de transformation doit être alloué à ces différents usages successifs. En accord avec les recommandations de l'ILCD (EC-JRC, 2010), **cette affectation doit être réalisée entre les usages successifs ayant lieu au cours des 20 premières années suivant la transformation, au prorata de leur durée d'occupation**.

L'application de cette règle est illustrée par un exemple à la Figure 11, faisant intervenir deux processus de transformation (1 et 2), et deux révolutions de sylviculture (systèmes C et D). Comme il peut être remarqué sur cette figure, les révolutions sylvicoles durant de façon générale plus de 20 ans, une transformation précédant immédiatement une révolution sylvicole est entièrement allouée à celle-ci (cas de la transformation 2 et du système C de la Figure 11), et inversement, aucune transformation n'est allouée aux révolutions suivantes (cas du système D).



Affectation du processus de transformation 1 :

- $15/20 = 75\%$ du processus est alloué au système B.
- $5/20 = 25\%$ du processus est alloué au système C.

Affectation du processus de transformation 2 :

- $20/20 = 100\%$ du processus est alloué au système C.

Soit :

La description de la première révolution de sylviculture (système C) doit inclure :

- Le processus de transformation 1, pondéré à 25 %.
- Le processus de transformation 2, non pondéré.

La description de la deuxième révolution de sylviculture (système D) ne doit inclure :

- Aucun processus de transformation.

Figure 11 - Exemple d'affectation de processus de transformation entre différents usages successifs

2.3. Allouer un processus de transformation d'usages des sols à une production de biomasse additionnelle

Pour les études portant sur une production de biomasse additionnelle due à un changement de pratiques sylvicoles, la première partie de cette étude a montré qu'il était possible d'allouer entièrement ce processus de transformation, lié à ce changement de pratiques, à la production de biomasse additionnelle, dans deux cas différents (voir partie 1 : état de l'art) :

- En approche attributionnelle, si peut être établie une causalité physique entre le processus de transformation et la production de biomasse additionnelle ; et
- En approche conséquentielle, si la comparaison entre le scénario d'étude et le scénario de référence permet d'exclure entièrement la production dite historique de biomasse.

Dans les deux cas, **il est recommandé de bien justifier l'application de cette règle, en veillant notamment à montrer que le changement de pratiques et la production de biomasse additionnelle n'ont aucun effet sur la production dite historique de biomasse, tant en quantité qu'en qualité.** Si ce dernier point ne peut être démontré, il n'est pas possible d'allouer le processus de transformation à la production de biomasse additionnelle uniquement.

Il est notamment important de veiller au respect de cette recommandation dans le cas de l'utilisation du temps de retour en GES, qui s'appuie implicitement sur cette hypothèse.

3. Phase 3 : Evaluation des impacts de cycle de vie

3.1. Réaliser le choix d'une méthode d'évaluation des impacts selon les recommandations internationales les plus récentes

Bien que les spécificités des systèmes de chauffage au bois ont conduit à focaliser les travaux menés sur certaines catégories d'impact, il est rappelé que l'utilisation de l'ACV vise par nature à être le plus exhaustif possible en termes d'enjeux environnementaux considérés. Pour cela, de nombreuses méthodes d'évaluation des impacts sont disponibles dans la littérature et implémentées dans les logiciels d'ACV les plus courants. Dans certains cas, l'objectif de l'étude requiert l'utilisation d'une méthode particulière d'évaluation des impacts, tel que cela est le cas pour les déclarations environnementales de produits par exemple. **A l'exception de ces cas, il est recommandé de se référer aux recommandations internationales les plus récentes afin de réaliser ce choix.**

A l'heure actuelle, les recommandations de l'ILCD publiées en 2011 sont les plus récentes à l'échelle européenne (EC-JRC, 2011). Ces recommandations ont donné naissance à une combinaison de modèles midpoint de caractérisation des impacts, généralement disponible dans les principaux logiciels d'ACV ; le Tableau 5 suivant rappelle les évaluations exprimées par l'ILCD des différents indicateurs midpoint disponibles au sein de cette méthode, pour chacune des catégories d'impact considérées (EC-JRC, 2011). De manière générale, les travaux de l'ILCD ne recommandent pas l'utilisation de modèles endpoint de caractérisation des impacts.

Catégorie d'impact		Modèles midpoint
Changement climatique		I ⁽¹⁾
Epuisement des ressources	Minérales et fossiles	II
	Usage de l'eau	III
	Usage des sols	III ⁽²⁾
Destruction de la couche d'ozone		I
Acidification		II
Eutrophisation	Aquatique	II
	Terrestre	II
Formation d'ozone photochimique		II
Particules / Effets respiratoires des inorganiques		I
Toxicité humaine	Cancérigène	II / III
	Non-cancérigène	II / III
Effets des radiations ionisantes	Sur la santé humaine	II
	Sur les écosystèmes	Interim
Ecotoxicité	En eaux douces	II / III
	Terrestre et marine	-

⁽¹⁾ Les recommandations relatives à cette catégorie d'impact en vue d'inclure les spécificités du cycle du carbone biogénique sont données en section 3.2.

⁽²⁾ Les recommandations relatives à cette catégorie d'impact sont détaillées en section 3.3.

Echelle de notation ILCD :

- I : Recommandé et satisfaisant
- II : Recommandé, mais quelques améliorations requises
- III : Recommandé, mais à appliquer avec précaution
- Interim : Trop immature pour être recommandé

Tableau 5 - Synthèse des évaluations ILCD quant à la qualité des modèles midpoint disponibles de caractérisation des impacts en ACV (EC-JRC, 2011)

Les recommandations de l'ILCD définissent ainsi la combinaison actuelle de modèles la plus pertinente sur le plan scientifique à l'échelle européenne. Toutefois, **il est recommandé, autant que faire se peut, d'utiliser d'autres méthodes d'évaluation des impacts en analyse de sensibilité** afin notamment de :

- Vérifier la sensibilité des résultats aux modèles de caractérisation, ce qui est particulièrement important pour les catégories d'impacts évaluées II ou III par l'ILCD (voir Tableau 5) ; et
- Inclure les modèles développés après la publication des recommandations de l'ILCD en 2011.

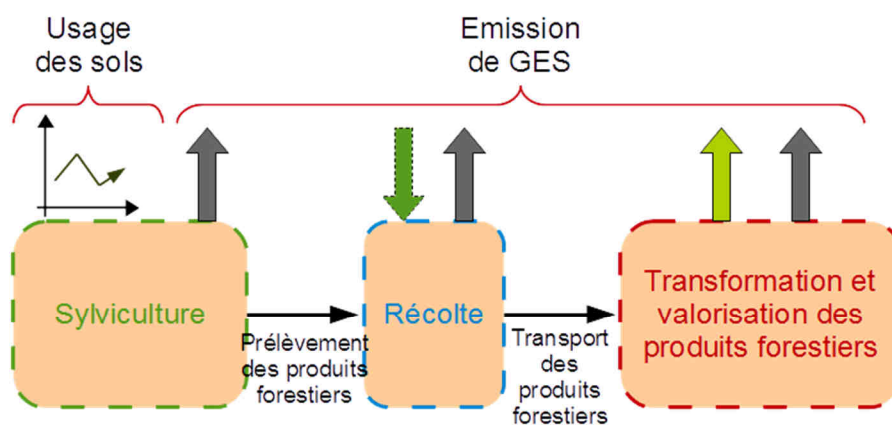
Enfin, il est important de souligner qu'à l'heure actuelle, aucun modèle de caractérisation recommandé par les travaux de l'ILCD ne permet de considérer les effets, bénéfiques ou néfastes, de la gestion forestière sur la modification des habitats ou la fragmentation du paysage, qui sont deux points clés de la prise en compte de la biodiversité en ACV.

3.2. Spécificités liées à l'évaluation des effets du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique

3.2.1. Cadre général de prise en compte des effets du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique

Afin de faciliter l'exploitation des différents travaux et méthodes existants relatifs à la prise en compte des effets du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique, **il est recommandé d'utiliser le formalisme du cadre général donné à la Figure 12 dans le cas de forêts anthropiques**. Ce cadre reste à développer pour le cas de forêts non anthropiques.

Cas d'une forêt anthropique :



Cas d'une forêt non anthropique :

Cadre à définir, non étudié dans le cadre de cette étude

Légende :

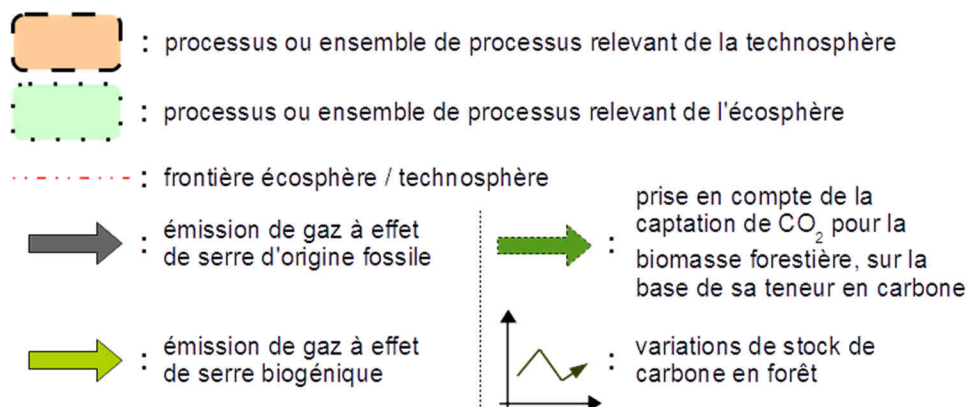


Figure 12 - Représentation schématique du cadre général de prise en compte des effets du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique proposé et recommandé par la présente étude

Selon ce cadre de prise en compte des effets du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique, deux types de mécanismes sont distingués pour les forêts anthropiques :

- L'émission de Gaz à Effet de Serre (GES) :
Ce mécanisme inclut l'émission de tout GES d'origine fossile, les émissions de GES biogénique ayant lieu lors de la transformation ou de la valorisation des produits forestiers, et les captations de CO₂ correspondant au contenu carbone des produits forestiers. Inversement, ce mécanisme exclut donc les émissions biogéniques et les captations de CO₂ liées aux processus naturels impliqués dans la détermination du stock de carbone en forêt : respiration, activité photosynthétique, ou dégradation de la biomasse morte.
- L'usage des sols :
Ce mécanisme représente l'effet de l'usage d'un sol sur son potentiel de séquestration de carbone, dans l'ensemble des compartiments de carbone (biomasse aérienne ou souterraine, vivante ou morte, litière et sol). Il peut être décomposé en deux sous-mécanismes :
 - La transformation d'usage, pouvant correspondre aussi bien à un changement d'usage qu'à un changement de pratique ; et
 - L'occupation, regroupant à la fois les variations de stock de carbone pouvant avoir lieu au cours d'un usage, et la comparaison du potentiel de séquestration de l'usage étudié à un potentiel de séquestration d'un usage de référence, traduisant un défaut ou un excès de stock dû à l'usage étudié.

Selon les modèles de caractérisation considérés, la prise en compte du potentiel de séquestration de carbone d'un sol considéré par ce mécanisme peut couvrir :

- Des flux réels de GES ;
- Des flux potentiels de GES, à travers notamment la prise en compte d'un potentiel de séquestration de carbone de référence ; et
- Des prélèvements de carbone, lié au transfert de carbone via la récolte de biomasse forestière.

Un double comptage existe entre ces deux mécanismes puisque le contenu carbone de la biomasse forestière est pris en compte comme un prélèvement de carbone pour le mécanisme d'usage des sols, et comme une émission de GES pour le mécanisme d'émission de GES lors de la transformation ou la valorisation des produits forestiers. Afin d'éviter ce double comptage, il est nécessaire de comptabiliser pour l'application de ce cadre la captation de CO₂ pour la biomasse forestière, calculée sur la base de sa teneur en carbone. Ce flux est comptabilisé au moment de la récolte de cette biomasse.

Pour chacun des mécanismes et sous-mécanismes décrits ci-dessus, les méthodes de caractérisation recommandées sont données aux sections 3.2.2 à 3.2.4 suivantes.

3.2.2. Caractérisation du mécanisme « Emission de GES »

Méthode de caractérisation recommandée pour les forêts anthropiques et non anthropiques

En accord avec les principales recommandations internationales en vigueur à l'heure actuelle, **il est préconisé de caractériser les émissions de GES à l'aide des Pouvoirs de Réchauffement Global (PRG) à 100 ans fournis par l'IPCC, selon l'approche de comptabilité totale** (EC-JRC, 2010 ; Levasseur, Brandão, 2014). Bien que, dans le cas particulier des systèmes de chauffage au bois, l'approche de comptabilité totale puisse être similaire à l'approche de neutralité carbone, la comptabilité totale est préférable pour différentes raisons (Rabl et al., 2007) :

- Elle permet d'éviter certaines erreurs de comptabilité, telles que les cas où certains co-produits ou les résidus de combustion contiennent du carbone qui reste stocké sur de longues durées, lors d'un enfouissement en décharge par exemple ;
- Elle fait apparaître de façon transparente les flux réels de GES, permettant par exemple de ne pas négliger l'intérêt de solutions de capture de CO₂ pour la biomasse, dont le contenu en carbone rapporté au contenu énergétique est élevé ; ou
- Elle constitue un préalable à l'application de nouvelles approches telles que l'ACV dynamique.

Méthodes de caractérisation à envisager dans le cadre d'analyses de sensibilité

Dans le cadre d'analyses de sensibilité, il est intéressant d'analyser l'influence sur les résultats de l'utilisation des PRG à 20 ans, en comptabilité totale.

Bien que non implémentées à l'heure actuelle, les Pouvoirs de modification de la Température Globale (PTG), à 20 ans, 50 ans ou 100 ans, sont présentés dans le dernier rapport d'évaluation de l'IPCC sur un pied d'égalité avec les PRG

(Myhre et al., 2013). Ce nouveau modèle de caractérisation sera intéressant à considérer en analyse de sensibilité dès son implémentation.

3.2.3. Caractérisation du mécanisme « Usage des sols » pour les processus de transformation

Ce mécanisme ne concerne que les approvisionnements en biomasse issus de forêts anthropiques.

Méthode de caractérisation recommandée

En accord avec les principales recommandations internationales en vigueur à l'heure actuelle, **il est préconisé de caractériser l'effet sur le changement climatique de transformations d'usages des sols à l'aide de la méthode de conversion ILCD, élargie à tous les compartiments de carbone**, selon les éléments donnés en première partie de cette étude (IPCC, 2006 ; EC-JRC, 2010). Pour rappel, les facteurs de caractérisation $FC_{transformation,A \rightarrow B}$ de cette méthode, exprimés en tCO_2 / ha , sont déterminés selon l'équation (1) suivante, où StockC désigne la valeur de stock de carbone d'un usage de sol, tous compartiments inclus, et exprimée en tC / ha .

$$FC_{transformation,A \rightarrow B} = (StockC_A - StockC_B) \cdot \frac{44}{12} \quad (1)$$

Compte tenu des manques actuels des valeurs par défaut de stocks de carbone proposées par l'IPCC et l'ILCD pour les systèmes forestiers (Benoist et al., 2015), **il est recommandé à l'heure actuelle de développer des valeurs spécifiques de stocks et donc des facteurs de caractérisation spécifiques pour chaque cas de changement de pratiques de gestion forestière**. Pour les cas de transformations d'usages impliquant un usage forestier, les valeurs par défaut proposées par ces guides pourront être jugées suffisantes (EC-JRC, 2010, p. 337-342 ; Aalde, Gonzalez, Gytarsky, Krug, Kurz, Lasco, et al., 2006 ; Aalde, Gonzalez, Gytarsky, Krug, Kurz, Ogle, et al., 2006).

Basée sur une comparaison de stocks à l'équilibre, cette méthode est bien adaptée dans le cadre d'une approche à la parcelle. **Dans le cadre d'une approche sur un ensemble de parcelles, il est recommandé de bien expliciter les hypothèses utilisées pour son adaptation**, notamment en termes d'échelle de temps considéré pour définir les valeurs de stock de carbone.

Enfin, **bien que la méthode de conversion ILCD soit jugée comme la plus satisfaisante des méthodes disponibles, celle-ci est à appliquer avec précaution**. En effet, cette méthode est basée sur une comparaison de stocks de carbone à l'équilibre et ne prend donc en compte ni le caractère dynamique des variations de stock de carbone, ni le caractère réversible de ces variations. Ces deux éléments sont les points clés du cadre conceptuel existant de prise en compte de l'usage des sols en ACV : la méthode de conversion ILCD ne respecte donc pas ce cadre conceptuel.

Méthodes de caractérisation non recommandées, à envisager dans le cadre d'analyses de sensibilité

Compte tenu des faiblesses mentionnées ci-dessus de la méthode de conversion ILCD, recommandée par défaut, **il est recommandé d'analyser la sensibilité des résultats à la méthode de caractérisation des processus de transformation du mécanisme d'usage des sols**.

Pour cette analyse de sensibilité, la méthode d'usage des sols Müller-Wenk et la méthode d'usage des sols Projet, non recommandées, constituent les meilleures méthodes disponibles actuellement.

3.2.4. Caractérisation du mécanisme « Usage des sols » sur les processus d'occupation

Ce mécanisme ne concerne que les approvisionnements en biomasse issus de forêts anthropiques.

Méthode de caractérisation recommandée

Compte tenu des manques identifiés par cette étude des méthodes de caractérisation disponibles dans la littérature, notamment en termes de validité scientifique ou de maturité, **aucune méthode n'est recommandée à l'heure actuelle pour la caractérisation des effets sur le changement climatique des processus d'occupation des sols**.

Méthodes de caractérisation non recommandées, à envisager dans le cadre d'analyses de sensibilité

Compte tenu des lacunes des méthodes de caractérisation existantes dans la littérature, **la caractérisation des effets sur le changement climatique des processus d'occupation des sols ne peut actuellement être abordée que dans le cadre d'analyses de sensibilité**. Pour cela, de la même façon que pour les processus de transformation, la méthode d'usage des sols Müller-Wenk et la méthode d'usage des sols Projet, non recommandées, constituent les meilleures méthodes disponibles actuellement. Les travaux menés lors de la deuxième partie de cette étude, relative à la mise en œuvre de méthodes de caractérisation d'impact sur le changement climatique, pourront alors constituer un point de départ intéressant pour l'application de ces deux méthodes.

3.2.5. Synthèse des recommandations relatives à la prise en compte des effets du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique

L'ensemble des recommandations données aux sections 3.2.2 à 3.2.4 est synthétisé dans le Tableau 6 suivant, selon le cadre général donné en section 3.2.1. Pour chaque modèle de caractérisation recommandé, une évaluation de la pertinence de ce modèle est proposée, selon l'échelle de notation utilisée dans le cadre des travaux de l'ILCD (EC-JRC, 2011).

Mécanisme environnemental	Type de flux d'inventaire correspondant	Modèle de caractérisation recommandé		Modèles de caractérisation à envisager dans le cadre d'analyses de sensibilité	
		Nom du modèle	Evaluation de la pertinence du modèle	Nom du modèle	Evaluation de la pertinence du modèle
Emission de GES	Emission de GES d'origine fossile (en kg)	PRG à 100 ans en comptabilité totale	I	PRG à 20 ans en comptabilité totale	I
	Emission de GES biogénique et captation de CO ₂ (en kg)			PTG à 20, 50, et 100 ans	I
Usage des sols, processus de transformation	Transformation des sols (en ha)	Conversion ILCD	II	Usage des sols Müller-Wenk	Interim
				Usage des sols Projet	Interim
Usage des sols, processus d'occupation	Occupation des sols (en ha.an)	Aucun	N/A	Usage des sols Müller-Wenk	Interim
				Usage des sols Projet	Interim

Echelle de notation des modèles :
 I : Recommandé et satisfaisant
 II : Recommandé, mais quelques améliorations requises
 III : Recommandé, mais à appliquer avec précaution
 Interim : Trop immature pour être recommandé

Tableau 6 - Synthèse des recommandations relatives à la prise en compte de l'effet du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique dans le cas de forêts anthropiques

3.3. Spécificités liées à la prise en compte de l'utilisation de ressources en systèmes forestiers

A l'heure actuelle, cette catégorie d'impact n'est développée que pour les cas de forêts anthropiques. La catégorie d'impact d'intérêt est alors le potentiel de production de ressources biotiques, relevant du cadre de prise en compte de l'usage des sols en ACV.

En accord avec les recommandations de l'ILCD (EC-JRC, 2011), **le modèle de caractérisation recommandé pour évaluer les effets de l'usage des sols sur le potentiel de production de ressources biotiques est le modèle Milà i Canals**, basé sur l'évaluation de la fertilité des sols, mesurée par son taux de matières organiques (Milà i Canals et al., 2007 ; Brandão, Milà i Canals, 2013). Comme souligné par les travaux de l'ILCD, cette méthode est à appliquer avec précaution (voir Tableau 5 et Tableau 7).

Les facteurs de caractérisation proposés actuellement par cette méthode permettent de distinguer des usages des sols mais ne permettent pas de prendre en compte l'effet de changements de pratiques sylvicoles. **Dans le cadre de l'étude de changements de pratiques, il est donc recommandé de développer des facteurs de caractérisation spécifiques.**

Mécanisme environnemental	Type de flux d'inventaire correspondant	Modèle de caractérisation recommandé		Modèles de caractérisation à envisager dans le cadre d'analyses de sensibilité	
		Nom du modèle	Evaluation de la pertinence du modèle	Nom du modèle	Evaluation de la pertinence du modèle
Potentiel de production de ressources biotiques	Transformation des sols (en ha)	Modèle Milà i Canals	III	Aucun	N/A
	Occupation des sols (en ha.an)				

Echelle de notation des modèles :

- I : Recommandé et satisfaisant
- II : Recommandé, mais quelques améliorations requises
- III : Recommandé, mais à appliquer avec précaution
- Interim : Trop immature pour être recommandé

Tableau 7 - Recommandations relatives à la prise en compte du potentiel de production de ressources biotiques dans le cas de forêts anthropiques

4. Phase 4 : Interprétation du cycle de vie

4.1. Vérification de l'étude

Trois principaux types d'analyses peuvent être considérés en termes de vérification d'une étude d'ACV : l'analyse de contribution, l'analyse de sensibilité, et l'analyse d'incertitude.

La réalisation d'analyses de contribution est indispensable à la vérification de l'étude. En effet, ce type d'analyse permet à la fois de mieux comprendre le système étudié et ses impacts sur l'environnement, mais aussi d'identifier les erreurs de calculs les plus simples.

Concernant les analyses de sensibilité, il est recommandé d'en conduire le plus possible dans le temps imparti de l'étude. En effet ces analyses permettent à la fois de juger du caractère satisfaisant ou non de la qualité des données collectées au cours de l'inventaire, et de faciliter l'interprétation générale des résultats de l'étude. Compte tenu du grand nombre potentiel d'analyses de sensibilité pouvant être menées lors d'une étude, il est conseillé de considérer plus particulièrement les éléments suivants :

- Les données de l'étude touchant directement au flux de référence de l'étude, telles que les données de rendement de production, de transformation ou de valorisation de la biomasse ;
- Les paramètres de description des étapes du cycle de vie les plus contributrices aux différents impacts pris en compte ;
- Pour les cas de multifonctionnalité, la règle choisie pour les solutions par affectation par prorata, ou les processus considérés pour les solutions par élargissement du système ; et
- Les modèles de caractérisation des impacts retenus, notamment pour les modèles les moins bien notés selon l'échelle de notation de l'ILCD (voir Tableau 5, Tableau 6 et Tableau 7).

Enfin, **il est conseillé de procéder à une analyse d'incertitude, par propagation aux résultats d'impacts des incertitudes de chacune des données d'entrée de l'ACV.** Pour ce type d'analyse, **il est alors recommandé d'accompagner l'interprétation des résultats par une estimation de la proportion de données pour lesquelles l'incertitude a pu correctement être quantifiée.**

4.2. Formulation des conclusions de l'étude

Au terme de l'interprétation de l'étude d'ACV, les conclusions et recommandations peuvent être formulées. **Celles-ci doivent tenir compte de l'ensemble des hypothèses réalisées et des limitations identifiées, de manière quantifiée ou non, au cours de la réalisation de l'étude. Une attention toute particulière devra être portée à l'objectif et au champ de l'étude initiaux, que les conclusions ne devront en aucun cas dépasser.**

5. Conclusions

Les recommandations méthodologiques qui figurent dans ce rapport ont été exposées selon les quatre phases de réalisation d'une étude d'ACV.

Les principales recommandations des deux premières phases, relatives à la définition des objectifs et du champ de l'étude et à l'inventaire du cycle de vie, sont déclinées en fonction de la situation de l'étude, reprenant les travaux de l'ILCD et faisant également des propositions en termes de modélisation de l'occupation forestière impliquée dans les systèmes de chauffage au bois. Ces recommandations sont synthétisées au sein du Tableau 8 suivant.

	Type d'objectif de l'étude ACV à réaliser			
	<i>Situation B</i>	<i>Situation A</i>	<i>Situation C1</i>	<i>Situation C2</i>
Définition des frontières du système	Cycle de vie du produit d'intérêt, et processus de la technosphère affectés par les conséquences à grande échelle de la décision étudiée	Cycle de vie du produit d'intérêt	Cycle de vie du produit d'intérêt	Cycle de vie du produit d'intérêt
Préférence en termes de gestion de la multifonctionnalité⁽¹⁾	Elargissement du système	Elargissement du système	Elargissement du système	Affectation
Identification des processus substitués en élargissement du système	Evolution marginale du marché	Mix moyen du marché	Mix moyen du marché	N/A
Représentativité des données utilisées lors de l'inventaire	Marginale	Moyenne	Moyenne	Moyenne

Légende :

- : Choix méthodologique relevant d'une approche conséquentielle
- : Choix méthodologique relevant d'une approche attributionnelle
- : Choix méthodologique relevant d'une approche hybride attributionnelle / conséquentielle

⁽¹⁾ : Préférence à appliquer dans le cas où la subdivision des processus n'est pas suffisante.

Tableau 8 – Synthèse des principales recommandations des phases 1 et 2, selon la situation de l'étude (en partie adapté de (EC-JRC, 2010))

Concernant la troisième phase, relative à l'évaluation des impacts du cycle de vie, les recommandations énoncées sont plus spécifiques aux systèmes de chauffage au bois, et ont été formulées pour le cas de forêts anthropiques. Les catégories d'impact étudiées plus spécifiquement sont le changement climatique et l'utilisation de ressources, pour lesquelles les méthodes de caractérisation recommandées sont rappelées au sein du Tableau 9. Pour les autres catégories d'impact classiquement utilisées en ACV, les recommandations sont identiques à celles formulées par l'ILCD (EC-JRC, 2011).

Catégorie d'impact	Mécanisme environnemental	Type de flux d'inventaire correspondant	Modèle de caractérisation recommandé		Modèles de caractérisation à envisager dans le cadre d'analyses de sensibilité	
			Nom du modèle	Evaluation de la pertinence du modèle	Nom du modèle	Evaluation de la pertinence du modèle
Changement climatique	Emission de GES	Emission de GES d'origine fossile (en kg)	PRG à 100 ans en comptabilité totale	I	PRG à 20 ans en comptabilité totale	I
		Emission de GES biogénique et captation de CO ₂ (en kg)			PTG à 20, 50, et 100 ans	I
	Usage des sols, processus de transformation	Transformation des sols (en ha)	Conversion ILCD	II	Usage des sols Müller-Wenk	Interim
					Usage des sols Projet	Interim
	Usage des sols, processus d'occupation	Occupation des sols (en ha.an)	Aucun	N/A	Usage des sols Müller-Wenk	Interim
					Usage des sols Projet	Interim
Utilisation des ressources	Potentiel de production de ressources biotiques	Transformation des sols (en ha)	Modèle Milà i Canals	III	Aucun	N/A
		Occupation des sols (en ha.an)				

Echelle de notation des modèles :
 I : Recommandé et satisfaisant
 II : Recommandé, mais quelques améliorations requises
 III : Recommandé, mais à appliquer avec précaution
 Interim : Trop immature pour être recommandé

Tableau 9 - Synthèse des recommandations relatives à l'évaluation des impacts du cycle de vie dans le cas de systèmes basés sur des forêts anthropiques

Enfin, les recommandations relatives à la dernière phase d'interprétation du cycle de vie rappellent les principales analyses à réaliser ainsi que les principales précautions à prendre lors de la formulation des conclusions d'une étude, quelle qu'elle soit.

Références bibliographiques

- AALDE, Harald, GONZALEZ, Patrick, GYTARSKY, Michael, KRUG, Thelma, KURZ, Werner A., LASCO, Rodel D., MARTINO, Daniel L., MCCONKEY, Brian G., OGLE, Stephen, PAUSTIAN, Keith, RAISON, John, RAVINDRANATH, N.H., SCHOENE, Dieter, SMITH, Pete, SOMOGYI, Zoltan, VAN AMSTEL, Andre et VERCHOT, Louis, 2006. Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-use Categories. In : EGGLESTON, Simon, BUENDIA, Leandro, MIWA, Kyoko, NGARA, Todd et TANABE, Kiyoto (éd.), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use* [en ligne]. June 2014. Hayama, Japan : Institute for Global Environmental Strategies (IGES). p. 2.1-2.59. Disponible à l'adresse : <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- AALDE, Harald, GONZALEZ, Patrick, GYTARSKY, Michael, KRUG, Thelma, KURZ, Werner A., OGLE, Stephen, RAISON, John, SCHOENE, Dieter, RAVINDRANATH, N.H., ELHASSAN, Nagmeldin G., HEATH, Linda S., HIGUCHI, Niro, KAINJA, Samuel, MATSUMOTO, Mitsuo, SANZ SÁNCHEZ, María José et SOMOGYI, Zoltan, 2006. Forest Land. In : EGGLESTON, Simon, BUENDIA, Leandro, MIWA, Kyoko, NGARA, Todd et TANABE, Kiyoto (éd.), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use* [en ligne]. June 2014. Hayama, Japan : Institute for Global Environmental Strategies (IGES). p. 4.1-4.83. Disponible à l'adresse : <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
- BENOIST, Anthony, CORNILLIER, Claire et PIEDNOIR, Brice, 2015. *Etude préliminaire à la réalisation de bilans environnementaux sur le chauffage au bois – Etat de l'art*. Angers, France.
- BRANDÃO, Miguel et MILÀ I CANALS, Llorenç, 2013. Global characterisation factors to assess land use impacts on biotic production. In : *The International Journal of Life Cycle Assessment* [en ligne]. 2 juillet 2013. Vol. 18, n° 6, p. 1243-1252. DOI 10.1007/s11367-012-0381-3. Disponible à l'adresse : <http://link.springer.com/10.1007/s11367-012-0381-3>.
- COLIN, Antoine, BARNÉRIAS, Cyrille, SALIS, Mireille, THIVOLLE-CAZAT, Alain, COULON, Frédéric et COUTURIER, Christian, 2009. *Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020*. Angers, France.
- CORNILLIER, Claire, BENOIST, Anthony et GLEIZES, Olivier, 2015. *Etude préliminaire à la réalisation de bilans environnementaux sur le chauffage bois – Mise en œuvre de méthodes de caractérisation d'impact Changement climatique*. Angers, France.
- EC-JRC, 2010. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. Luxembourg City, Luxembourg.
- EC-JRC, 2011. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context*. Luxembourg City, Luxembourg.
- EUROPEAN COMMISSION, 2009. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources. In : *Official Journal of the European Union* [en ligne]. 2009. p. L 140/16-L 140/62. Disponible à l'adresse : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32009L0028>.
- IPCC, 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [en ligne]. Hayama, Japan : Institute for Global Environmental Strategies (IGES). ISBN 4-88788-032-4. Disponible à l'adresse : <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
- ISO, 2006. *Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework*. S.I.
- JOLLIET, Olivier, SAADÉ, Myriam, CRETTEZ, Pierre et SHAKED, Shanna, 2010. *Analyse du cycle de vie - Comprendre et réaliser un écobilan*. 2ème édit. S.I. : s.n. ISBN 9782880748869.
- LEVASSEUR, Annie et BRANDÃO, Miguel, 2014. *Etat de l'art sur le stockage/déstockage du carbone par la biomasse au sein des ACV*. Villeurbanne, France.
- LINDEIJER, Erwin, MÜLLER-WENK, Ruedi et STEEN, Bengt, 2002. Impact assessment of resources and land use. In : UDO DE HAES, Helias A., FINNVEDEN, Göran, GOEDKOOP, Mark, HAUSCHILD, Michael, HERTWICH, Edgar G., HOFSTETTER, Patrick, JOLLIET, Olivier, KLÖPPFER, Walter, KREWITT, Wolfram, LINDEIJER, Erwin, MÜLLER-WENK, Ruedi, OLSEN, Stig I., PENNINGTON, David W., POTTING, José et STEEN, Bengt (éd.), *Life-Cycle Impact*

Assessment: Striving towards best practice. S.I. : SETAC. p. 11-64.

MILÀ I CANALS, Llorenç, ROMANYÀ, Joan et COWELL, Sarah J., 2007. Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of 'fertile land' in Life Cycle Assessment (LCA). In : *Journal of Cleaner Production* [en ligne]. 2007. Vol. 15, n° 15, p. 1426-1440. DOI 10.1016/j.jclepro.2006.05.005. Disponible à l'adresse : <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652606001600>.

MYHRE, Gunnar, SHINDELL, Drew, BRÉON, François-Marie, COLLINS, William, FUGLESTVEDT, Jan, HUANG, Jianping, KOCH, Dorothy, LAMARQUE, Jean-François, LEE, David, MENDOZA, Blanca, NAKAJIMA, Teruyuki, ROBOCK, Alan, STEPHENS, Graeme, TAKEMURA, Toshihiko et ZHAN, Hua, 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In : STOCKER, T.F., QIN, D., PLATTNER, G.-K., TIGNOR, M., ALLEN, S.K., BOSCHUNG, J., NAUELS, A., XIA, Y., BEX, V. et MIDGLEY, P.M. (éd.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [en ligne]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA : Cambridge University Press. p. 659-740. ISBN 978-1-107-05799-1. Disponible à l'adresse : <http://www.climatechange2013.org/report/>.

RABL, Ari, BENOIST, Anthony, DRON, Dominique, PEUPORTIER, Bruno, SPADARO, Joseph V. et ZOUGHAIB, Assaad, 2007. How to account for CO2 emissions from biomass in an LCA. In : *The International Journal of Life Cycle Assessment* [en ligne]. 2007. Vol. 12, n° 5, p. 281. DOI 10.1065/lca2007.06.347. Disponible à l'adresse : <http://www.springerlink.com/index/10.1065/lca2007.06.347>.

Index des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1 – Recommandations en matière de gestion de la multifonctionnalité selon la situation de l'étude (adapté de (EC-JRC, 2010))	12
Tableau 2 - Recommandations en matière d'élargissement du système selon la situation de l'étude (adapté de (EC-JRC, 2010))	12
Tableau 3 - Recommandations en matière de définition des frontières du système selon la situation de l'étude (adapté de (EC-JRC, 2010)).....	15
Tableau 4 – Recommandations sur le caractère moyen ou marginal des données selon le type d'objectif (adapté de (EC-JRC, 2010))	20
Tableau 5 - Synthèse des évaluations ILCD quant à la qualité des modèles midpoint disponibles de caractérisation des impacts en ACV (EC-JRC, 2011).....	23
Tableau 6 - Synthèse des recommandations relatives à la prise en compte de l'effet du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique dans le cas de forêts anthropiques.....	27
Tableau 7 - Recommandations relatives à la prise en compte du potentiel de production de ressources biotiques dans le cas de forêts anthropiques	28
Tableau 8 – Synthèse des principales recommandations des phases 1 et 2, selon la situation de l'étude (en partie adapté de (EC-JRC, 2010))	30
Tableau 9 - Synthèse des recommandations relatives à l'évaluation des impacts du cycle de vie dans le cas de systèmes basés sur des forêts anthropiques	31

Figures

Figure 1 - Phases de réalisation d'une ACV, selon la norme ISO 14040 (ISO, 2006).....	6
Figure 2 - Arbre de sélection du type de situation d'une étude ACV (adapté de (EC-JRC, 2010)).....	8
Figure 3 - Arbre de sélection de la situation de l'étude ACV à mener pour Q_{ch} en fonction des précisions obtenues	9
Figure 4 - Arbre de sélection de la situation de l'étude ACV à mener pour Q_{2020}	9
Figure 5 - Localisation dans l'arbre des principales classes et compartiments de bois : bois d'œuvre, bois d'industrie / bois énergie, et menus bois (Colin et al., 2009)	11
Figure 6 - Principe d'une résolution de la multifonctionnalité par élargissement du système.....	12
Figure 7 - Principe d'une résolution d'affectation par prorata : cas d'une affectation économique	14
Figure 8 - Représentation simplifiée de l'approche systémique en ACV et des interactions entre systèmes (adaptée de (Jolliet et al., 2010)).....	14
Figure 9 - Exemple simplifié de cycle de vie, distinguant la fonction principale du système (N_0) et les processus de la technosphère qui y sont connectés par des liens matériels (N_1), fonctionnels (N_2), ou de service (N_3) (adapté de (EC-JRC, 2010))	16
Figure 10 - Distinction entre la technosphère et l'écosphère selon les types de forêt (anthropique ou non anthropique) 18	
Figure 11 - Exemple d'affectation de processus de transformation entre différents usages successifs	22
Figure 12 - Représentation schématique du cadre général de prise en compte des effets du cycle du carbone biogénique sur le changement climatique proposé et recommandé par la présente étude.....	24

Sigles et acronymes

ACV	Analyse de Cycle de Vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
BDP	Biotic Depletion Potential (Potentiel d'épuisement des ressources biotiques)
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GTP	Global Temperature change Potential (en français, voir PTG)
GWP	Global Warming Potential (en français, voir PRG)
ILCD	International reference Life Cycle Data system
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (en français, voir GIEC)
LCA	Life Cycle Assessment
PCR	Product Category Rules
PRG	Pouvoir de Réchauffement Global
PTG	Pouvoir de modification de la Température Globale
SETAC	Society of Environmental Toxicology And Chemistry
UNEP	United Nations Environment Programme

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

www.ademe.fr



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr

ABOUT ADEME

The French Environment and Energy Management Agency (ADEME) is active in the implementation of public policy in the areas of the environment, energy and sustainable development. The Agency provides expertise and advisory services to businesses, local authorities and communities, government bodies and the public at large, to enable them to establish and consolidate their environmental action. As part of this work ADEME helps finance projects, from research to implementation, in the areas of waste management, soil conservation, energy efficiency and renewable energy, air quality and noise abatement.

ADEME is a public agency under the joint authority of the Ministry for Ecology, Sustainable Development and Energy, and the Ministry for Education, Higher Education and Research.

www.ademe.fr



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr